

4.Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука,1977. – 336 с.

5.Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессе очистки воды. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.

Получено 26.01.2010

УДК 628.163

Н.Г.НАСОНКІНА, д-р техн. наук, С.Е.АНТОНЕНКО

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м.Макіївка*

Е.І.ЖУКОВ

*КП «Компанія «Вода Донбасу», м.Донецьк*

Г.І.БЛАГОДАРНА, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ**

Розглядаються питання очищення природних вод у багат шаровому фільтрі малої продуктивності.

Рассматриваются вопросы очистки природных вод в многослойном фильтре малой производительности.

The questions of natural waters treatment are examined in the multi-layered filter of small productivity.

*Ключові слова:* фільтр, завантаження, фільтроцикл, перманганатна окислюваність, матриця планування.

Однією з характерних ознак сучасного життя є повсюдна поява малих і середніх виробничих підприємств, житлових селищ при них, заміських котеджів, баз відпочинку. Всі ці об'єкти, як правило, віддалені від централізованих господарсько-питних водоводів і тому вимагають влаштування локальних систем водопостачання малої продуктивності з використанням місцевих, іноді нетрадиційних, водних джерел. Установки для очищення води повинні гарантувати технологічну і санітарну надійність і повинні бути достатньо економічними. У зв'язку з цим розробка установок для очищення питної води для малих об'єктів є актуальною.

Метою даної роботи є вивчення можливості застосування водоочисної установки для очищення природних вод малої продуктивності.

Завдання роботи – вивчення процесів очищення природних вод у багат шаровому фільтрі.

Порівняльний аналіз водних джерел Донецької і Луганської областей показав, що основними забруднюючими чинниками є каламутність, ряд розчинених у воді органічних сполук і жорсткість води. Таким чином, технологічний процес очищення води для цих джерел по-

винен включати три основні стадії: видалення з води завислих речовин; знезараження; видалення ряду розчинених сполук і зм'якшування води.

З урахуванням специфіки експлуатації водоочисної установки здійснено вибір технологічного устаткування за критеріями: можливість зниження забруднюючого чинника до допустимих величин; забезпечення необхідної продуктивності водоочисних апаратів; невеликі габарити устаткування.

На підставі аналізу характеристик якості природної та очищеної води, основних стадій і методів очищення розроблена структурна схема технологічного процесу очищення води (рис.1).

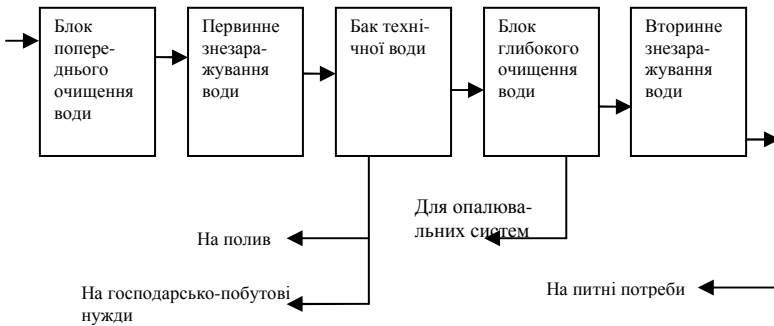


Рис.1 – Структурна схема технологічного процесу очищення

Високі техніко-економічні показники водоочисної установки неможливо досягти без її структурної і параметричної адаптації до умов режиму споживання, що змінюються, і характеристик природної води. Структурна адаптація має на увазі зміну кількості блоків установки і взаємозв'язків між ними. Параметрична адаптація полягає в зміні параметрів системи управління тими або іншими процесами. Прикладом параметричної адаптації є управління процесом попереднього очищення (рис.2).

Для дослідження параметрів роботи фільтру побудовано модель і проведено експерименти. В ході експериментів до незалежних і некорельованих чинників, що визначають процес фільтрування, віднесено:  $X_1$  – висота завантаження фракції 2-5 мм;  $X_2$  – висота завантаження фракції 0,8-1,6 мм;  $X_3$  – висота полімерного завантаження, мм;  $X_4$  – швидкість фільтрування, м/год.;  $X_5$  – тривалість промивки, хв.;  $X_6$  – тривалість продування, хв.;  $X_7$  – інтенсивність промивки, л/с·м<sup>2</sup>.

До параметрів оптимізації роботи установки відносяться:  $Y_1$  –

тривалість фільтрування до досягнення заданих втрат тиску, год.;  $Y_2$  – ефективність очищення по перманганатній окислюваності (ПО), що виражається співвідношенням  $\frac{C_{остПО}}{C_{вихПО}}$ .

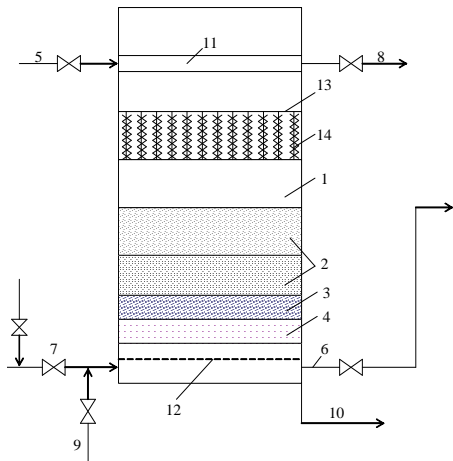


Рис.2 – Конструкція блоку попереднього очищення води

1 – резервуар; 2 – зернисте фільтруюче завантаження (виконане з модифікованого вугілля-антрациту, доломіту і шунгіту, двома шарами: верхній шар товщиною 0,4 м фракції 0,8-1,6 мм, а нижній шар товщиною 0,3 м фракцією 2-5 мм); 3 – шар з щебеню; 4 – шар з гравію; 5 – трубопровід подачі води на фільтрацію; 6 – трубопровід відведення фільтрату; 7 – трубопровід подачі промивної води; 8 – трубопровід відведення промивної води; 9 – трубопровід подачі повітря; 10 – трубопровід спорожнення; 11 – жолоб; 12 – система розподілу промивної води; 13 – підтримуюча сітка; 14 – полімерне завантаження (насадка у вигляді "ялиночок" шаром 0,4 м).

Контроль процесу фільтрування здійснюється через залишкові концентрації забруднень після промивки. Проби води на аналіз відбирали кожні чотири години. Розрахунок зведено в табл.1-4.

Таблица 1 – Интервалы и уровни зміни чинників

$X_i$	Розмірність	Рівні			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
$X_1$	мм	0	200	400	200
$X_2$	-«-	300	400	500	100
$X_3$	-«-	300	300	600	300
$X_4$	м/год.	6	10	14	4
$X_5$	хв.	5	8	11	3
$X_6$	-«-	0	5	10	5
$X_7$	л/с·м <sup>2</sup>	2	6	10	4

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

№ п/п	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		
								Y <sub>1</sub> '	Y <sub>1</sub> '	Y <sub>2</sub> '	Y <sub>2</sub> '
1	-	+	-	+	-	+	-	22	21	0,31	0,27
2	+	+	-	-	+	-	-	32	27	0,57	0,54
3	-	-	-	-	+	+	+	39	46	0,55	0,49
4	+	-	-	+	-	-	+	26	28	0,60	0,52
5	-	+	+	-	-	-	+	36	40	0,38	0,42
6	+	+	+	+	+	+	+	24	28	0,36	0,31
7	-	-	+	+	+	-	-	32	29	0,32	0,26
8	+	-	+	-	-	+	-	31	28	0,45	0,38

Перевірка однорідності дисперсій:  $G_{\text{експ}} = 0,434$ ,  $G_{\text{табл}} = 0,68$ ,  $G_{\text{експ}} \leq G_{\text{табл}}$ . Отже, дисперсії однорідні, і допустимо розраховувати коефіцієнти рівняння регресії. Коефіцієнти рівняння регресії:  $B_0=30,31$ ,  $B_1=2,56$ ,  $B_2=-2,06$ ,  $B_3=0,69$ ,  $B_4=-4,31$ ,  $B_5=1,56$ ,  $B_6=-0,69$ ,  $B_7=3,06$ . Середньоквадратична помилка при визначенні коефіцієнтів рівняння регресії:  $S_b=1,33$ . Табличне значення критерію Ст'юдента:  $t=1,86$ . Перевірка значущості коефіцієнтів регресії  $t_{sb} = 2,47$  (по модулю). Рівняння регресії:  $Y_1 = 30,31 - 2,56X_1 - 4,31X_4 + 3,06X_7$ .

Розрахунок  $Y_{\text{розрах}}^{\text{теоретично}}$  за рівнянням регресії наведено в табл.3. Розрахунок дисперсії неадекватності:  $(Y_{\text{сер}} - Y_{\text{розрах}})^2$ . Перевірка адекватності рівняння за критерієм Фішера:  $F_{\text{експ}}=2,00$ ;  $F_{\text{табл}}(0,95; 1; 4)$   $F_{\text{експ}} < F_{\text{теор}}$ . Отже, рівняння є адекватним.

Таблиця 3 – Розрахунок і аналіз рівняння регресії для визначення тривалості фільтроциклу

Y		Y <sub>сер</sub>	Δ	Δ <sup>2</sup>	Y <sub>розрах</sub>	(Y <sub>сер</sub> - Y <sub>розрах</sub> ) <sup>2</sup>
Y'	Y'					
20	21	20,5	0,5	0,25	25,5	25
30	27	28,5	1,5	2,25	29	0,25
39	46	42,5	3,5	12,25	40,24	5,11
26	28	27	1	1	26,5	0,25
36	40	38	2	4	40,24	5,02
24	28	26	2	4	26,5	0,25
32	29	30,5	1,5	2,25	25,5	20,25
31	28	29,5	1,5	2,25	29	0,25

$$\Sigma \Delta^2 = 28,25$$

$$S^2_{\text{на}} = 56,38$$

Перевірка однорідності дисперсій:  $G_{\text{експ}} = 0,25$ ,  $G_{\text{табл}} = 0,68$ ,  $G_{\text{експ}} \leq G_{\text{табл}}$ . Отже, дисперсії однорідні, і допустимо розраховувати коефіцієнти рівняння регресії. Коефіцієнти рівняння регресії:  $B_0 = 0,42$ ,  $B_1=0,047$ ,  $B_2=-0,025$ ,  $B_3=-0,060$ ,  $B_4=-0,052$ ,  $B_5=0,052$ ,  $B_6=-0,03$ ,  $B_7=0,032$ . Середньоквадратична помилка при визначенні коефіцієнтів рівняння регресії:  $S_b = 0,02$ . Табличне значення критерію Ст'юдента:

$t = 1,86$ . Перевірка значущості коефіцієнтів регресії:  $t_{sb} = 0,037$  (за модулем). Рівняння регресії:  $Y_2 = 0,42 + 0,047X_1 - 0,060X_3 - 0,052X_4$ .

Розрахунок  $Y_{розр}$  теоретично за рівнянням регресії наведено в табл.4. Розрахунок дисперсії неадекватності:  $(Y_{сер} - Y_{розр})^2$ . Перевірка адекватності рівняння за критерієм Фішера:  $F_{експ} = 3,00$ ;  $F_{табл}(0,95; 1; 4) = 7,71$ ;  $F_{експ} < F_{табл}$ . Отже, рівняння адекватно.

Таблиця 4 – Розрахунок і аналіз рівняння регресії для перманганатної окислюваності

Y		Y <sub>сер</sub>	Δ	Δ <sup>2</sup>	Y <sub>розр</sub>	(Y <sub>сер</sub> – Y <sub>розр</sub> ) <sup>2</sup>
Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>					
0.31	0.27	0.29	0.02	0,0004	0,38	0,008
0.57	0.54	0.56	0.02	0,0004	0,58	0,0004
0.55	0.49	0.52	0.03	0,0009	0,49	0,0009
0.6	0.52	0.56	0.04	0,0016	0,48	0,0064
0.38	0.42	0.4	0.02	0,0004	0,37	0,0009
0.36	0.31	0.34	0.03	0,0009	0,35	0,0001
0.32	0.26	0.29	0.03	0,0009	0,26	0,0009
0.45	0.38	0.42	0.03	0,0009	0,46	0,0016

$$\Sigma \Delta^2 = 0,0064$$

$$S^2_{на} = 0,0192$$

Запишемо і проаналізуємо спільно одержані рівняння регресії, що адекватно описують процес попереднього очищення на багатошаровому фільтрі.

1. Тривалість фільтроциклу:  $Y_1 = 30,31 - 2,56X_1 - 4,31X_4 + 3,06X_7$  (функція, що зростає).

2. Відношення залишкових забруднень по перманганатній окислюваності до початкових показників:  $Y_2 = 0,42 + 0,047X_1 - 0,060X_3 - 0,052X_4$  (функція, що убыває).

Можна бачити, що в рівняннях регресії  $Y_1$  і  $Y_2$  значущим є чинник  $X_1$  – висота шару завантаження фракції 2-5 мм. При цьому для збільшення  $Y_1$  і зменшення  $Y_2$  чинник  $X_1$  необхідно зменшувати. Технологічно це означає, що завантаження даної фракції значно впливає на тривалість фільтроциклу і виділення із природних вод органічних речовин. Частка внеску  $X_1$  у процес складає: для  $Y_1 (2,56/30,51) = 0,084$ ;  $Y_2 (0,047/0,42) = 0,112$ .

Залежно від основної вимоги до процесу очищення – максимальної тривалості фільтроциклу або найбільшого виділення органічних речовин оптимальну висоту фільтруючого шару зернистого завантаження ( $X_1$ ) при проектуванні фільтрів слід застосовувати відповідно до найкращих значень, одержаних в експерименті. Для оптимальної тривалості фільтроциклу і зниження органічних забруднень по перманганатній окислюваності висота завантаження – 200 мм.

Також є значимим в  $Y_1$  і  $Y_2$  чинник  $X_4$  – швидкість фільтрування,

причому у всіх рівняннях з негативним знаком, тобто його величину слід зменшувати. Проте тільки для  $Y_1$  це викличе збільшення тривалості фільтроциклу, а для  $Y_2$  – погіршення показників очищення вод по органічним речовинам. Отже, величина швидкості фільтрування, відповідна нульовому рівню інтервалів варіювання є оптимальною і складає 10 м/год. Частка внеску чинника  $X_4$  у процес становить:  $Y_1 (4,31/30,31) = 0,142$ ;  $Y_2 (0,052/0,42) = 0,124$ .

Порівнюючи величини загального внеску в процес очищення фільтруванням, можна бачити домінуючий вплив швидкості фільтрування.

Не встановлено впливу чинника  $X_2$  на процес, що згідно теорії активного експерименту вказує на його незначущість або знаходження в зоні оптимуму. Це означає, що висота шару завантаження фракцією 0,8-1,6 мм, рівна 400 мм, є оптимальною для даного процесу. Тоді сумарна висота завантажувального фільтруючого матеріалу складе 700 мм (300 – фракція 2-5 мм; 400 – фракція 0,8-1,6 мм).

Встановлено тільки одиничний вплив на виділення забруднень по ПО (рівняння регресії  $Y_2$ ) чинника  $X_3$  – висоти полімерного завантаження, величину якого згідно з рівнянням регресії слід знижувати, з пайовим внеском у процес –  $(0,06/0,42) = 0,143$ . Можна припускати, що основний внесок у процес у даному випадку полягає за рахунок біохімічної складової. Отже, до проектування приймаємо висоту, рівну нульовому рівню, тобто 400 мм.

Інтенсивність промивки – чинник  $X_7$  також має статистичну значущість тільки для  $Y_1$ , тривалості фільтроциклу з пайовим внеском в процес 0,101.

Аналогічне моделювання проводиться за всіма показниками.

В результаті адаптації процесів попереднього очищення можна понизити витрату електроенергії та уточнити параметри установки.

Таким чином, застосування водоочисної установки дозволить одержати необхідну якість води з мінімальними витратами за рахунок адаптації її роботи до умов роботи, що змінюються.

1. Найманов А.Я., Нікіша С.Б., Насонкіна Н.Г., Омельченко Н.П., Маслак В.Н., Зотов Н.І., Найманова А.А. Водопостачання. – Донецьк: Норт-прес, 2004. – 649 с.

2. Насонкіна Н.Г. Підвищення екологічної безпеки систем питного водопостачання. – Мокіївка: ДонНАБА, 2005. – 181 с.

Отримано 25.01.2010